

PAT-NO: JP411097413A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11097413 A
TITLE: METHOD FOR ETCHING SI WAFER
PUBN-DATE: April 9, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

ABE, KICHIJI
TANAKA, HIROSHI
SAKAIDA, ATSUSUKE
TANIGUCHI, TOSHIHISA
FUKADA, TAKESHI
ITO, MOTOKI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

DENSO CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP10157917
APPL-DATE: June 5, 1998

INT-CL (IPC): H01L021/3063, G01P015/08 , H01L021/306 , H01L029/84

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the accuracy of the depth of a recessed part, by performing a second process wherein a Si wafer is isotropically etched while anodizing an etching plane by applying a positive voltage for Si wafer anodization, after performing a first process wherein the Si wafer is anisotropically etched to a prescribed depth.

SOLUTION: In a first process, a Si wafer 11 is anisotropically etched and a recessed part 19 is formed. At that time, a corner is formed at an edge 19b of an inner bottom 19a of the recessed part 19. The corner is rounded by performing a second process of anodization, namely, isotropical etching. Such rounding sufficiently increases the breakdown strength of the diaphragm of the Si wafer. As the isotropical etching by anodization in the second

process
advances extremely slowly compared with the first process of
anisotropical
etching, the etching can be easily controlled. Thus, the variation
of the
depths of the recessed part 19, namely, the thickness dimension of
the
diaphragm 20 can be eliminated as much as possible.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-97413

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月9日

(51) Int.Cl.⁶ 識別記号
 H 0 1 L 21/3063
 G 0 1 P 15/08
 H 0 1 L 21/306
 29/84

F I
 H 0 1 L 21/306 L
 G 0 1 P 15/08 Z
 H 0 1 L 29/84 B
 21/306 B

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平10-157917

(22) 出願日 平成10年(1998) 6月5日

(31) 優先権主張番号 特願平9-197054

(32) 優先日 平9(1997) 7月23日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 阿部 ▲吉▼次

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(72) 発明者 田中 浩

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(72) 発明者 坂井田 敦資

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(74) 代理人 弁理士 佐藤 強

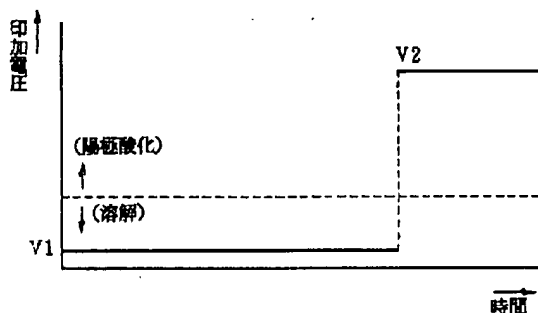
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 S i ウエハのエッチング方法

(57) 【要約】

【課題】 S i ウエハを異方性エッチングしたときに形成される凹部の内底部の端部を丸め処理しながら、凹部の深さ寸法の精度を向上させる。

【解決手段】 本発明のS i ウエハのエッチング方法は、S i ウエハを所定の深さまで異方性エッチングする第1の工程と、この第1の工程を実行した後、S i ウエハに陽極酸化用の正電圧を印加してS i ウエハを陽極酸化しながら等方性エッチングする第2の工程とを備えている。この場合、第1の工程の異方性エッチングにより生じたS i ウエハの凹部の内底部の端部の角部は、第2の工程の陽極酸化、即ち、等方性エッチングによって丸められる。そして、陽極酸化による等方性エッチングは、第1の工程の異方性エッチングに比べて非常にゆっくり進行するから、エッチング制御が容易である。このため、凹部の深さ寸法がばらつくことを極力防止できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 Siウエハを異方性エッチング液中に浸漬させて前記Siウエハの所望部をエッチングするエッチング方法において、

前記Siウエハを所定の深さまで異方性エッチングする第1の工程と、

この第1の工程を実行した後、第1の工程にて現れたエッチング面全体に陽極酸化用の電圧が印加されるように前記Siウエハに電圧を印加して前記エッチング面を等方性エッチングする第2の工程とを備えたことを特徴とするSiウエハのエッチング方法。

【請求項2】 前記第1の工程において、前記Siウエハに異方性エッチング可能な程度の電圧を印加しながら、前記Siウエハを異方性エッチングすることを特徴とする請求項1記載のSiウエハのエッチング方法。

【請求項3】 前記異方性エッチング液をKOHとすると共に、

前記第2の工程において、前記異方性エッチング液の温度を高く設定したことを特徴とする請求項1または2記載のSiウエハのエッチング方法。

【請求項4】 前記SiウエハとしてPN接合したSiウエハを用いる構成において、

前記第1の工程で、前記SiウエハのP層に異方性エッチング可能な程度の正電圧を印加しながら、前記Siウエハを異方性エッチングし、

この第1の工程を実行した後、前記SiウエハのP層に前記正電圧を印加することを止めると共に前記SiウエハのN層に陽極酸化用の正電圧を印加して前記PN接合層近傍で前記Siウエハを陽極酸化する陽極酸化工程を実行し、

この陽極酸化工程を実行した後、前記第2の工程で、前記SiウエハのN層に前記正電圧を印加することを止めると共に前記SiウエハのP層に陽極酸化用の正電圧を印加して前記Siウエハを等方性エッチングすることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載のSiウエハのエッチング方法。

【請求項5】 PN接合したSiウエハを異方性エッチング液中に浸漬させて前記Siウエハの所望部をエッチングするエッチング方法において、

前記P層をPN接合層近傍まで異方性エッチングする工程と、

この工程を実行した後、前記SiウエハのN層に陽極酸化用の正電圧を印加して前記PN接合層近傍で前記Siウエハを陽極酸化する工程と、

この工程を実行した後、前記SiウエハのN層に前記正電圧を印加することを止めると共に前記SiウエハのP層に陽極酸化用の正電圧を印加して前記異方性エッチングする工程と、前記陽極酸化する工程とにより現れたエッチング面を等方性エッチングする工程とを備えたことを特徴とするSiウエハのエッチング方法。

【請求項6】 前記Siウエハに抵抗体を直列接続して電圧を印加することを特徴とする請求項2記載のSiウエハのエッチング方法。

【請求項7】 前記Siウエハの種類やエッチング工程に応じて、前記抵抗体の抵抗値を変えることを特徴とする請求項6記載のSiウエハのエッチング方法。

【請求項8】 前記Siウエハに電圧を印加するときに、前記Siウエハに流れる電流が所定値となるように、前記Siウエハに印加する電圧を調整することを特徴とする請求項6または7記載のSiウエハのエッチング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体圧力センサや半導体加速度センサ等のSiダイアフラムを形成するときに好適するSiウエハのエッチング方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体圧力センサや半導体加速度センサ等のSiダイアフラムを形成する方法の一例を、図42及び図43に従って説明する。この方法の場合、まず図42に示すように、Siウエハ1の下面に所定形状のゲージ（ひずみゲージ）2を形成すると共に、Siウエハ1の上面にSiO₂やSiN膜からなるエッチングマスク3を形成する。続いて、図43に示すように、上記Siウエハ1の下面側をワックス等の保護材4を介してセラミック基板5に貼り付ける。これにより、Siウエハ1の下面側が保護される。

【0003】そして、このようなSiウエハ1及びセラミック基板5を、図43に示すように、容器6に貯留された例えばKOH水溶液からなる異方性エッチング液7中に浸漬させて、ケミカルエッチングを実行するように構成されている。この場合、複数枚のSiウエハ1（及びセラミック基板5）をキャリア8にセットしてから、キャリア8ごと異方性エッチング液7中に浸漬させている。

【0004】上記Siウエハ1は、異方性エッチング液7中に浸漬されると、図42に2点鎖線で示すように、エッチングマスク3の開口部3aに対応するエッチング面が溶解されて、凹部9が形成される。そして、この凹部9の底部部分がダイアフラム9aとなる。ここで、異方性エッチング液7によるエッチングは異方性エッチングであるため、ダイアフラム9aの端部9b、9bが角部となってしまふ。そして、このようにダイアフラム9aの端部9b、9bが角部であると、ダイアフラム9aの耐圧強度が低くなるという欠点がある。

【0005】そこで、従来構成においては、上記凹部9を形成したSiウエハ1を例えば酸系エッチング液からなる等方性エッチング液中に浸漬させて凹部9の内面を等方性エッチングすることにより、ダイアフラム9aの端部を丸める処理を実行していた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来構成で実行する等方性エッチング処理は拡散律速反応であるため、反応制御が困難であった。また、酸系の等方性エッチング液は組成の経時変化が大きかった。このため、Siウエハ1に形成される凹部9の深さ寸法、即ち、形成されたSiダイヤフラム9aの厚さ寸法がかなりばらつくという問題点があった。更に、上記従来構成では、凹部9の内底面、即ち、Siダイヤフラム9aの表面がかなり荒れてしまうという不具合や図17に示すダイヤフラムの寸法D1が変動するという不具合もあった。これは、Siウエハ1の結晶方位が(110)の面(以下、(110)面と称す)を異方性エッチング液7によりエッチングするときに、異方性エッチング液に微量含まれている金属イオン(例えばPb)等の不純物がSiウエハ1のエッチング面に吸着してマスキング作用によりエッチレートが変動するためであった。

【0007】そこで、本発明の目的は、Siウエハを異方性エッチングしたときに形成される凹部の内底部の端部を丸め処理可能でありながら、凹部の深さ寸法の精度を向上させることができるSiウエハのエッチング方法を提供するにある。また、本発明の他の目的は、Siウエハをエッチングしたときに形成される凹部の内底面の平滑性及び凹部寸法の精度を向上させることができるSiウエハのエッチング方法を提供するにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明においては、Siウエハを所定の深さまで異方性エッチングする第1の工程を実行した後、Siウエハに陽極酸化用の正電圧を印加して、前記第1の工程にて現れたエッチング面を陽極酸化しながら等方性エッチングする第2の工程を実行するようにした。この場合、第1の工程の異方性エッチングにより生じたSiウエハの凹部の内底部の端部の角部は、第2の工程の陽極酸化、即ち、等方性エッチングによって丸められる。そして、陽極酸化による等方性エッチング反応は、拡散律速でなく、反応律速である。また、第1の工程の異方性エッチングに比べて非常にゆっくり進行するから、即ち、エッチレートが非常に小さいから、エッチング制御が容易である。このため、ダイヤフラムの厚さがばらつくことを極力防止できる。

【0009】請求項2の発明においては、第1の工程において、Siウエハに異方性エッチング可能な程度の電圧を印加しながら、Siウエハを異方性エッチングするようにした。この方法によれば、Siウエハのエッチング面の電位が正の方向へシフトし、Siより貴な金属イオンとの電位差が小さくなるから、エッチング面に金属イオン等の不純物が吸着しにくくなる。このため、エッチング面が(110)面であっても、エッチング面が滑らかになり、凹部の内底面の平滑性が向上すると同時に、ダイヤフラムの寸法ばらつきも抑制できる。

【0010】請求項3の発明によれば、異方性エッチング液をKOHとすると共に、第2の工程において、異方性エッチング液の温度を高く設定したので、Siウエハに陽極酸化用の正電圧を印加してSiウエハを陽極酸化しながら等方性エッチングするときのエッチレートが高くなる。この結果、凹部の内底部の端部の丸め処理に要する時間を短縮することができる。

【0011】請求項4の発明によれば、第1の工程で、PN接合したSiウエハのP層に異方性エッチング可能な程度の正電圧を印加しながら、Siウエハを異方性エッチングするので、エッチング面が滑らかになり、凹部の内底面の平滑性が向上すると同時に、ダイヤフラムの寸法ばらつきも抑制できる。そして、この場合、第1の工程を実行した後、SiウエハのP層に前記正電圧を印加することを止めると共にSiウエハのN層に陽極酸化用の正電圧を印加してPN接合層近傍でSiウエハを陽極酸化する陽極酸化工程を実行するようにした。この方法によれば、上記陽極酸化によりPN接合層近傍でSiウエハのエッチングが自動的に停止するので、ダイヤフラムの厚さの精度を高くし得る。また、上記方法の場合、陽極酸化工程を実行した後、第2の工程で、SiウエハのN層に正電圧を印加することを止めると共にSiウエハのP層に陽極酸化用の正電圧を印加してSiウエハを等方性エッチングするようにした。これにより、第1の工程の異方性エッチングにより生じたSiウエハの凹部の内底部の端部の角部を丸めることができ、しかも、ダイヤフラムの厚さがばらつくことを極力防止できる。尚、第2の工程にてPN接合に電圧を印加して陽極酸化させる場合にもSiウエハ凹部の内底部の端部に現れる角部を丸める効果があるが、この場合は角部のPN接合近傍付近しか丸められず、十分に丸めることができない。そこでP層に陽極酸化用の電圧を印加する工程を行うことにより、請求項1と同様に角部を十分に丸めることができる。

【0012】また、請求項5においても請求項4と同様にPN接合に陽極酸化用の電圧を印加することによりダイヤフラム厚を精度よく制御できるとともに、P層に陽極酸化用の電圧を印加することによってSiウエハ凹部の内底部の端部に現れる角部を十分に丸めることができる。

【0013】請求項6の発明によれば、Siウエハに抵抗体を直列接続して電圧を印加するように構成したので、Siウエハに異方性エッチング可能な程度の電圧を印加する際、印加する電圧の範囲が広くなり、電圧制御が容易になる。この構成の場合、請求項7の発明のように、Siウエハの種類やエッチング工程に応じて、抵抗体の抵抗値を変えるように構成すると、電圧制御をより一層容易に行うことができる。

【0014】また、請求項8の発明においては、Siウエハに電圧を印加するときに、Siウエハに流れる電流

が所定値となるように、Siウエハに印加する電圧を調整する構成とした。これにより、電圧制御が容易になると共に、必要な電圧を正確に印加することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明を半導体圧力センサや半導体加速度センサ等のSiダイアフラムを形成する構成に適用した第1の実施例について、図1ないし図11を参照しながら説明する。まず、本実施例で用いるSiウエハについて、図10に従って簡単に説明する。図10において、Siウエハ11は、P型シリコンウエハ（例えば比抵抗が $10 \sim 20 \Omega \cdot \text{cm}$ のもの）から構成されており、その一方の面である下面には、例えばCVDによりN型Si層（Nエピ層）61が形成されている。そして、N型Si層61には、P+からなる所定形状のゲージ62が形成されていると共に、P+アイソレーション層63が形成されている。P+アイソレーション層63の下面には、例えば全体としてほぼ格子状をなすAl製の給電用電極64が形成されている。この電極64からP+アイソレーション層63を通してエッチング面であるP型Si層へ給電される。

【0016】また、Siウエハ11の他方の面である上面には、例えばSiO₂やSiN膜等からなるエッチングマスク12が形成されている。尚、上記Siウエハ11としては、上記P型シリコンウエハ（N層有り）の他に、N型シリコンウエハ、P型シリコンウエハ（N層無し）を用いることが可能である。これらウエハを元厚から所定深さエッチングして、ダイアフラムを形成する。

【0017】続いて、従来構成（図4参照）と同様に、上記Siウエハ11の右側面をワックス等の保護材を介して例えばセラミック基板に貼り付ける。尚、上記保護材及びセラミック基板は、図10に図示することを省略した。これにより、Siウエハ11の右側面が保護される。

【0018】そして、このようなSiウエハ11（及びセラミック基板）を、図2に示すように、容器13内に貯留された例えばKOHからなる異方性エッチング液14中に浸漬させて、エッチングを実行する。この場合、Siウエハ11（の給電用電極64）を、可変電源回路15の正側端子15aに電流検知器16を介して予め接続しておく。また、上記可変電源回路15の負側端子15bを接続したPt電極17を、予め容器13内の異方性エッチング液14中に浸漬させておく。上記可変電源回路15は、例えば0～0.2V程度の微小直流電圧V1と、例えば0.6V以上の直流電圧V2とを出力することが可能なように構成されている。

【0019】また、可変電源回路15とSiウエハ11との間に設けられた電流検知器16は、Siウエハ11、異方性エッチング液14及びPt電極16からなる回路に流れる電流の大きさを検知し、この検知信号を制御装置18に与えるように構成されている。この制御装

置18は、エッチング処理全般を制御する機能を有しており、上記可変電源回路15に指令信号を与えることにより、可変電源回路15から出力される直流電圧の値を変更すると共に、該直流電圧の出力を停止する（断電すること）が可能のように構成されている。

【0020】更に、制御装置18は、容器13内の異方性エッチング液14の温度を制御できるように構成されている。具体的には、オイルバスの中に上記容器13を収納した状態で、制御装置18はオイルバスのヒータを通电制御すると共に、オイルバスの中に貯留されたシリコンオイルの温度（または容器13内の異方性エッチング液14の温度）を検出するように構成されている。これにより、制御装置18は、容器13内の異方性エッチング液14の温度を、例えば $\pm 2 \sim 3^\circ\text{C}$ ぐらいの精度で $70 \sim 120^\circ\text{C}$ 程度の温度範囲内の所望の温度に設定する温度制御が可能になっている。

【0021】次に、図1、図3ないし図9も参照して、上記Siウエハ11をエッチングするエッチング方法について具体的に説明する。まず、図2に示すように、例えばP型のSiウエハ11を、液温が例えば 110°C で濃度が3wt%のKOH水溶液からなる異方性エッチング液14中に浸漬させると共に、制御装置13のエッチング制御動作を開始させる。すると、制御装置13は、可変電源回路15に指令信号を与えて、可変電源回路15から微小直流電圧V1を出力させる。これにより、上記微小直流電圧V1がSiウエハ11に印加されるようになり、この印加状態で、Siウエハ11を異方性エッチングする処理が進行する。即ち、Siウエハ11のうちのエッチングマスク12の開口部12aに対応するエッチング面が異方性エッチング液14により溶解していき、凹部19が形成される。

【0022】ここで、Siウエハ11に印加した微小直流電圧V1は、異方性エッチング可能な程度の正電圧、例えば0.1Vであり、これについては詳しくは後述する。そして、上述したようにSiウエハ11を異方性エッチングする工程（以下、第1の工程と称する）は、制御装置18により所定時間例えば約30分間実行されるように構成されている。尚、この第1の工程を実行する所定時間の長さは、形成する凹部19の深さ寸法及び異方性エッチング液14のエッチレートに基づいて適宜設定すれば良い。

【0023】ここで、上記異方性エッチング液14のエッチレートは、液の種類や液の温度や液の濃度やSiウエハ11に印加される正電圧の大きさに応じて変化する。具体的には、異方性エッチング液14がKOHであり、その液温が例えば 110°C で、濃度が3wt%である場合、異方性エッチング液14のエッチレートは、Siウエハ11に印加される正電圧に応じて、図7に示すように変化する。この図7から、印加される正電圧が0～0.2V程度の微小直流電圧であれば、エッチレ

トが十分大きく、異方性エッチングがすみやかに進行することがわかる。一方、図7から、印加される正電圧が0.6V以上の直流電圧になると、エッチレートが非常に小さくなり、エッチングがほとんど停止することがわかる。このようにエッチレートが非常に小さくなる理由は、上記0.6V以上の直流電圧の印加によりSiウエハ11のエッチング面が陽極酸化したためである。

【0024】さて、上記第1の工程の実行により、図3に示すように、Siウエハ11に凹部19が形成される。この場合、凹部19が異方性エッチングにより形成されたため、凹部19の内底部19aの端部19bの形状は角部となっている。尚、上記凹部19の内底部19aがダイヤモンド20となる。

【0025】この後、制御装置18は可変電源回路15に指令信号を与えて、可変電源回路15から例えば3.0Vの直流電圧V2を出力させる。これにより、上記直流電圧V2がSiウエハ11に印加されるようになり、Siウエハ11のエッチング面が陽極酸化する。この場合、上記直流電圧V2が陽極酸化用の正電圧に相当している。

【0026】ここで、上記直流電圧V2の印加により、Siウエハ11のエッチング面が陽極酸化すると、エッチングがほとんど停止するような状態となるが、実際には、図7に示すように、エッチレートが非常に小さい（第1の工程時のエッチレートの約1/50ぐらい）だけでエッチングは進行する。このようにエッチングが進行する理由は、図6(a)、(b)、(c)に示すように、Siウエハ11のエッチング面が陽極酸化する動作と、陽極酸化した酸化膜(SiO₂)11aが溶解する動作が同時に進行していくため、結果的にSiウエハ11の表面（エッチング面）がかなりゆっくりであるがエッチングされるのである。

【0027】そして、上記エッチングは、異方性エッチング液14にSiウエハ11を浸漬しているものでありながら、等方性エッチングである。というのは、酸化膜(SiO₂)11aの溶解は、Siウエハ11の面方位に全く依存しないためである。尚、酸化膜11aの厚み寸法は、例えば20〜30オングストロームである。

【0028】また、本実施例では、上述したようにSiウエハ11のエッチング面を陽極酸化しながら等方性エッチングする工程（以下、第2の工程と称す）を、例えば約10分間実行するように構成されている。これにより、図4に斜線領域で示すように、凹部19の内面が等方性エッチングされる処理が進行し、図5に示すように、該凹部19の内底部19aの端部19bの形状が丸められる。この場合、上記等方性エッチングのエッチレートがかなり小さい値であっても、約10分間実行すれば、凹部19の内底部19aの端部19bの形状を丸めるのに十分である。

【0029】ここで、第2の工程を実行する時間は、上

記10分間に限られるものではなく、異方性エッチング液14の液の種類や液の温度やSiウエハ11に印加する正電圧V2の値等に応じて適宜設定すれば良い。具体的には、Siウエハ11がP型であり、異方性エッチング液14がKOH水溶液であり、その液温が例えば110℃であり、濃度が32wt%である場合、凹部19の内底部19aの端部19bの丸め量と、Siウエハ11に印加する正電圧V2の印加時間（即ち、陽極酸化時間）と、Siウエハ11に印加する正電圧V2の値との関係は、図8に示すようになることが実験で確認された。

【0030】この図8において、直線A1は正電圧V2が1.0Vの場合であり、直線A2は正電圧V2が2.0Vの場合であり、直線A3は正電圧V2が3.0Vの場合である。尚、Siウエハ11がN型である場合は、正電圧V2で変動することがほとんどなくなり、ほぼ直線A1だけとなる。

【0031】また、Siウエハ11に印加する正電圧V2が例えば3.0Vである場合、凹部19の内底部19aの端部19bの丸め量と、異方性エッチング液14の液温と、正電圧V2の印加時間（即ち、陽極酸化時間）との関係は、図9に示すようになることが実験で確認された。この図9において、直線B1は液の温度が80℃の場合であり、直線B2は液の温度が100℃の場合であり、直線B3は液の温度が110℃の場合である。

【0032】この後、上記第2の工程の実行が完了したら、Siウエハ11に正電圧V2を印加したままで、Siウエハ11を異方性エッチング液14中から引き上げて、該Siウエハ11を水洗いする。これにより、Siウエハ11に凹部19、即ち、ダイヤモンド20を形成する処理が完了する。

【0033】このような構成の本実施例によれば、第1の工程においてSiウエハ11を異方性エッチングすることにより凹部19を形成したときに、凹部19の内底部19aの端部19bに角部が発生するが、この角部は、第2の工程の陽極酸化、即ち、等方性エッチングを実行することにより丸められる。この丸め処理により、製造されたSiウエハ11のダイヤモンド20の耐圧強度が十分に高くなる。そして、第2の工程の陽極酸化による等方性エッチングは、第1の工程の異方性エッチングに比べて非常にゆっくり進行するから、エッチング制御が容易である。このため、凹部19の深さ寸法、即ち、ダイヤモンド20の厚み寸法がばらつくことを極力防止できる。

【0034】また、上記実施例では、Siウエハ11を所定の深さまで異方性エッチングする第1の工程において、Siウエハ11に異方性エッチング可能な程度の微小な正電圧V1を印加しながら、Siウエハ11を異方性エッチングするようにした。この場合、Siウエハ11のエッチング面の電位が正の方向へシフトし、Siよ

り貴な金属イオンとの電位差が小さくなるから、エッチング面に金属(例えばPb)等の不純物が吸着し難くなる。このため、上記実施例によれば、Siウエハ11のエッチング面が(110)面であっても、エッチング面が滑らかになり、凹部19の内底面19aの平滑性がより一層向上する。また、寸法のばらつきも低減する。

【0035】ここで、上記実施例においては、電流検知器17によりSiウエハ11に流れる電流を検出し、エッチング面の初期電流密度、即ち、エッチング初期の電流を被エッチング面積で割った値が0.10~0.15 mA/mm²程度になるように、制御装置18及び可変電源回路15によってSiウエハ11に印加する電圧V1の大きさを調整している。ここで、P型のSiウエハ11に正電圧を印加したときの、電圧と、エッチング面の初期電流密度との関係を図11に示す。そして、上記実施例の場合、上述したように、Siウエハ11に印加する電圧V1の大きさを調整すると、凹部19の内底面19aの表面の平滑(凹凸)の程度を示すRzが約0.2μm以下になった。尚、エッチング面に電圧を印加しない通常の異方性エッチングを行う場合は、凹部19の内底面19aの平滑の程度、即ち、面の粗度を示すRzは約1.0μm程度であり、本実施例の方が平滑性がかなり向上したことがわかる。

【0036】更に、上記実施例では、異方性エッチング液14をKOHとすると共に、第2の工程において、異方性エッチング液14の温度を高く、例えば110℃に設定したので、Siウエハ11に陽極酸化用の正電圧V2を印加してSiウエハ11を陽極酸化しながら等方性エッチングするときのエッチレートが高くなる。この結果、凹部19の内底面19aの端部19bの丸め処理に要する時間を短縮することができる。

【0037】尚、上記実施例では、第1の工程において、Siウエハ11に異方性エッチング可能な程度の微小な正電圧V1を印加するように構成したが、これに代えて、上記微小な正電圧V1を印加しないで、即ち、全く電圧を印加しないで異方性エッチングするように構成しても良い。この構成の場合、凹部19の内底部の表面の平滑性が多少悪くなるが、丸め処理については十分実行される。

【0038】また、上記実施例の場合、第1の工程の初期においては、異方性エッチング液14の液温が不安定であることがある。このような場合、エッチングを精度良くコントロールできないおそれがある。そこで、第1の工程の初期においては、Siウエハ11に例えば1.0V以上の正電圧を印加してエッチング面を陽極酸化してエッチングを停止させておき、この後、異方性エッチング液14の液温が安定したら、上記正電圧を印加するのを止めると共に、異方性エッチング可能な程度の微小な正電圧を印加するように構成することが好ましい。

【0039】図12は、本発明の第2の実施例を示すも

のである。尚、第1の実施例と同一部分には同一符号を付している。この第2の実施例では、Siウエハ11をエッチングするに際して、図12に示すエッチング装置21を使用するように構成した。上記エッチング装置21は、基台22と筒状の枠体23と蓋体24とを備えており、これら部材は例えば4フッ化エチレン樹脂等の高絶縁性で断熱性及び耐蝕性に優れた材料で形成されている。上記基台22と枠体23との間及び枠体23と蓋体24との間は、Oリング25及び26により液密に封止されており、もって基台22と枠体23と蓋体24とから密閉容器が構成されている。この密閉容器内に、異方性エッチング液14が貯留可能になっている。

【0040】また、基台22の上面22aにSiウエハ11を配置するように構成されており、該Siウエハ11の上面(エッチング面)が上記異方性エッチング液14と接触するように構成されている。基台22の上面22aの外周部には、環状の負圧室形成用凹部27が設けられている。この負圧室形成用凹部27は、リング状のパッキン28により塞がれている。このパッキン28は、Siウエハ11の外周縁部を挟んで固定している。上記負圧室形成用凹部27の内部を真空ポンプにより真空引きすることにより、パッキン28を吸引し、Siウエハ11を固定している。

【0041】上記負圧室形成用凹部27内には、例えば2個の陽極電極29、30が配設されている。これら陽極電極29、30の先端部はSiウエハ11に接触して接続されている。上記陽極電極29、30の基端部は、可変電源回路15の正側端子15aに接続されている。

【0042】また、蓋体24には、供給通路31が形成されており、異方性エッチング液14はバルブ32及び上記供給通路31を通して枠体23(密閉容器)内へ供給されるように構成されている。更に、純水はバルブ33及び上記供給通路31を通して枠体23内へ供給され、窒素ガスはバルブ34及び上記供給通路31を通して枠体23内へ供給されるように構成されている。尚、枠体23(密閉容器)内のエッチング液14等は、ポンプ等によりパイプ35及び蓋体24に形成された排出通路36を通して外部へ排出されるように構成されている。

【0043】一方、棒状の陰極電極37は、蓋体24を貫通して上記密閉容器内の底部近くまで延びるように配設されている。この陰極電極37の基端部は、電流検出器16を介して可変電源回路15の負側端子15bに接続されている。また、上記密閉容器内には、エッチング液等を加熱するヒータ38及びエッチング液等の温度を検知する温度センサ39が配設されている。上記ヒータ38は、温度コントローラ40により通電制御されるように構成されており、この温度コントローラ40は上記温度センサ39から出力される温度検知信号を受けるように構成されている。これにより、温度コントローラ4

11

0は、密閉容器内のエッチング液等の温度を所望の温度（例えば110℃）に設定可能な構成となっている。

【0044】また、上記密閉容器内には、エッチング液等を攪拌する攪拌翼41が配設されており、この攪拌翼41は蓋体24の上部に配設されたモータ42により回転駆動されるように構成されている。更に、制御装置18は、可変電源回路15、バルブ32、33、34、温度コントローラ40及びモータ42を駆動制御するように構成されている。

【0045】そして、このような構成のエッチング装置21を用いてSiウエハ11をエッチングする場合、前記第1の実施例で説明した第1の工程及び第2の工程を順次実行するように構成されている。従って、上記第2の実施例においても、第1の実施例と同じ作用効果を得ることができる。特に、第2の実施例によれば、エッチング液の温度を精度良く制御可能できると共に、エッチング液の排出やSiウエハ11の水洗いを速やかに実行できるから、エッチング制御をより一層安定的且つ高精度に実行することができる。

【0046】また、第2の実施例では、Siウエハ11をエッチング装置21の基台22の上面に載置すると共に、リング部材28によりSiウエハ11の外周縁部を挟んで固定するように構成したので、第1の実施例とは異なり、Siウエハ11をセラミック基板等に貼り付ける作業を不要にすることができる。

【0047】図13ないし図28は本発明の第3の実施例を示す図である。尚、第1の実施例と同一部分には同一符号を付している。この第3の実施例は、図13に示すように、PN接合を有するSiウエハ43を電気化学エッチングする場合の実施例である。このSiウエハ43は、図16に示すように、P型シリコン基板（以下、P層と称す）44の下面に例えばCVDによりN型Si層（以下、N層と称す）45を形成し、熱拡散によりP⁺層65をドーピングして複数のN層45に分離して構成されている。上記Siウエハ43の下面には、P層44に通じるP層電極46が形成されていると共に、N層45に通じるN層電極47が形成されている。尚、N層電極47とP⁺層65との間には、例えば酸化膜からなる絶縁層66が形成されている。更に、Siウエハ43（のN層45）の下面には、所定形状のゲージ62が形成されている。

【0048】そして、このような構成のSiウエハ43の上面に、例えばSiN膜等からなるエッチングマスク12を形成する。また、Siウエハ43の下面をワックス等の保護材を介して例えばセラミック基板に貼り付け、Siウエハ43の右側面を保護する。

【0049】更に、このようなSiウエハ43（及びセラミック基板）を、図13に示すように、容器13内に貯留された例えばKOHからなる異方性エッチング液14中に浸漬させて、エッチングを実行する。この場合、

12

Siウエハ43のP層44（のP層電極46）を可変電源回路15の正側端子15aにリレー48を介して接続しておくと共に、Siウエハ43のN層45（のN層電極47）を可変電源回路15の正側端子15aにリレー49を介して接続しておく。また、上記可変電源回路15の負側端子15bを接続したPt電極17を容器13内の異方性エッチング液14中に浸漬させておく。上記2個のリレー48、49は、前記制御装置18によりオンオフ制御されるように構成されている。

【0050】また、制御装置18は、第1の実施例と同様に、容器13内の異方性エッチング液14の温度を制御できるように構成されている。即ち、オイルバスの中に上記容器13を収納し、そして、制御装置18は、オイルバスのヒータを通电制御すると共に、オイルバス内のシリコンオイルの温度（ひいては容器13内の異方性エッチング液14の温度）を検出するように構成されている。

【0051】次に、図14、図15、図17ないし図28も参照して、上記PN接合を有するSiウエハ43をエッチングするエッチング方法について具体的に説明する。まず、図13に示すように、Siウエハ43を容器13内の液温が例えば110℃の3wt% KOH水溶液からなる異方性エッチング液14中に浸漬させると共に、制御装置13のエッチング制御動作を開始させる。すると、制御装置13は、P層電極46側のリレー48をオンすると共に、N層電極47側のリレー49をオフし、更に、可変電源回路15に指令信号を与えて、可変電源回路15から微小直流電圧V1（例えば0.15V）を出力させるようにする。

【0052】これにより、上記微小直流電圧V1がSiウエハ43のP層44に印加されるようになり、この印加状態で、Siウエハ43のP層44の図13中左面（エッチング面）を異方性エッチングする処理が進行する。この場合、Siウエハ43のP層44のうちのエッチングマスク12の開口部12aに対応するエッチング面が異方性エッチング液14により溶解していき、凹部50が形成される。

【0053】ここで、Siウエハ43のP層44に印加した微小直流電圧V1は、異方性エッチング可能な程度の正電圧である。そして、上述したようにSiウエハ43を異方性エッチングする工程（以下、第1の工程と称する）は、制御装置18により所定時間例えば約30分間実行されるように構成されている。尚、この第1の工程を実行する時間の長さは、形成する凹部50の深さ寸法及び異方性エッチング液14のエッチレートに基づいて適宜設定すれば良い。

【0054】さて、上記第1の工程の実行により、図13及び図18に示すように、Siウエハ43のP層44に凹部50が形成される。この場合、凹部50が異方性エッチングにより形成されたため、凹部50の内底部5

0aの端部50bの形状は角部となっている。尚、上記凹部50の内底部50aがダイヤフラム20となる。また、上記第1の工程における微小正電圧V1の印加状態を図14の時刻T0から時刻T1までのグラフで示し、Siウエハ43のP層44に流れる電流（電流検知器16による電流検知値）を図15の時刻T0から時刻T1までのグラフで示す。

【0055】この後、第1の工程が完了した時点T1、即ち、Siウエハ43のPN接合層の近くまでエッチングが進んだ時点で、制御装置18は、P層電極46側のリレー48をオフすると共に、N層電極47側のリレー49をオンし、更に、可変電源回路15に指令信号を与えて、可変電源回路15から陽極酸化用の正電圧として直流電圧V2（例えば3.0V）を出力させるようにする。これにより、上記直流電圧V2がSiウエハ43のN層45に印加されるようになる。この電圧印加によって、通常（従来周知）の電気化学エッチングと同様にして、エッチングがSiウエハ43のPN接合層近傍まで進行すると共に、そのエッチング面が陽極酸化し、そこでエッチングが停止する。

【0056】この場合、上記直流電圧V2の印加により、Siウエハ43のエッチング面（ダイヤフラム面）が陽極酸化すると、エッチングがほとんど停止するような状態となるが、実際には、エッチレートが非常に小さいだけである。しかし、本実施例の場合、上記直流電圧V2を印加する工程の時間は、約5分間（図14及び図15の時刻T1から時刻T2までの時間t2）であるから、エッチングはほとんど停止している。この時、N層45に電圧を印加しているため、N層45とP層44との間のPN接合近傍となるエッチング面（ダイヤフラム面）は陽極酸化されるが、エッチング面の側面は陽極酸化されない。従って、エッチングにより形成された凹部の角部は十分に陽極酸化されない。従って、この処理だけでは凹部の端部（ダイヤフラムの端部）全体を丸めることは十分できない。尚、上記Siウエハ43のエッチング面を陽極酸化する工程を、以下、陽極酸化工程と称する。

【0057】次に、上記陽極酸化工程が完了した時点T2で、制御装置18は、P層電極46側のリレー48をオンすると共に、N層電極47側のリレー49をオフし、更に、可変電源回路15に指令信号を与えて、可変電源回路15から陽極酸化用の正電圧として直流電圧V3（例えば3.5V）を出力させるようにする。これにより、上記直流電圧V3がSiウエハ43のP層44に印加されるようになる。この電圧印加によって、第1の実施例の第2の工程と同様にして、Siウエハ43のエッチング面（ダイヤフラム面および側壁部）が陽極酸化すると共に、等方性エッチングが非常にゆっくり（第1の工程時のエッチレートの約1/50ぐらい）ではあるが進行するようになる。

【0058】そして、本実施例では、上述したようにSiウエハ43のエッチング面を陽極酸化しながら等方性エッチングする工程（以下、第2の工程と称す）を、例えば約5分間実行するように構成されている。これにより、Siウエハ43の凹部50の内面部分が等方性エッチングされる処理が進行し、該凹部50の内底部50aの端部50bの形状が丸められる。この場合、上記等方性エッチングのエッチレートがかなり小さい値であっても、約5分間実行すれば、凹部50の内底部50aの端部50bの形状を丸めるのに十分である。ここで、第2の工程を実行する時間は、上記5分間に限られるものではなく、異方性エッチング液14の液の種類や液の温度やSiウエハ43に印加する正電圧V3の値等に応じて適宜設定すれば良い。

【0059】この後、上記第2の工程の実行が完了したら（時点T3で）、Siウエハ43に正電圧V3を印加したままで、Siウエハ43を異方性エッチング液14中から引き上げて、該Siウエハ43を水洗いする。これにより、Siウエハ43に凹部50、即ち、ダイヤフラム20を形成する処理が完了する。

【0060】このような構成の第3の実施例によれば、PN接合を有するSiウエハ43を所定の深さまで異方性エッチングする第1の工程において、Siウエハ43に異方性エッチング可能な程度の微小な正電圧V1を印加しながら、Siウエハ43を異方性エッチングするように構成した。この構成の場合、Siウエハ43のエッチング面の電位が貴方向にシフトし、Siよりも貴な金属イオンとの電位差が小さくなるから、エッチング面に金属（例えばPb）等の不純物が吸着しにくくなる。このため、Siウエハ43のエッチング面が（110）面であっても、エッチング面が滑らかになり、凹部19の内底面19aの平滑性をより一層向上することができ

る。

【0061】ここで、Siウエハ43に流す初期電流密度と、エッチング面の平滑性（面の粗度）を表すRzとの関係を測定したグラフを図24に示す。この図24において、黒丸の点が面粗度Rzの実測点を示し、これら黒丸の点を結ぶ曲線が初期電流密度と面粗度Rzとの関係を示すグラフである。尚、上記図24において、白丸の点はマイクロピラミッドの発生頻度の実測点を示し、これら白丸の点を結ぶ曲線が初期電流密度とマイクロピラミッドの発生頻度との関係を示すグラフである。

【0062】そして、上記第3の実施例では、初期電流密度を0.13mA/mm²として、エッチング面の面粗度Rzが約0.1μmになった。ここで、エッチング面（P層44）に電圧を印加しない従来構成の電気化学エッチングを行う場合は、エッチング面の面粗度Rzが約1.0μmであり、第3の実施例の方が平滑性がかなり向上した。尚、上記図24のグラフは、異方性エッチング液14として例えば110℃の32wt%KOH水

溶液を使用した場合の実験例である。

【0063】また、図24におけるA点、即ち、初期電流密度が0の場合（電圧を印加しない場合）のエッチング面の様子を図25に示す。更に、図24におけるB点、即ち、初期電流密度が0.10mA/mm²の場合のエッチング面の様子を図26に示す。更にまた、図24におけるC点、即ち、初期電流密度がほぼ0.15mA/mm²の場合のエッチング面の様子を図27に示す。そして、図24におけるD点、即ち、初期電流密度がほぼ0.24mA/mm²の場合のエッチング面の様子を図28に示す。尚、これら図25、図26、図27、図28は、エッチング面を撮影した写真を模写した図である。

【0064】図24のグラフと、上記図25、図26、図27から、初期電流密度を0.10mA/mm²よりも大きくすると、エッチング面の平滑性が良くなることが明確にわかる。一方、初期電流密度を0.18mA/mm²ぐらいよりも大きくすると、図28に示すように、エッチング面に、横断面形状がひし形のマイクロピラミッド67が発生し始め、初期電流密度が0.20mA/mm²以上からマイクロピラミッド67が頻繁に発生するようになる。これらマイクロピラミッド67のうちの大きさ（例えばひし形の長い方の対角線の長さ）が20μm以上のものの1mm²当たりの個数を、マイクロピラミッド67の発生頻度と定義し、この発生頻度を測定して図24のグラフを得た。この図24のグラフから、初期電流密度を大きくすると、マイクロピラミッド67が発生するため、品質が悪化することがよくわかる。従って、初期電流密度を0.10mA/mm²～0.20mA/mm²程度、好ましくは、0.12mA/mm²～0.18mA/mm²に設定すると、最も品質が良くなることがわかる。尚、マイクロピラミッド67が発生する場合のエッチング面の面粗度R_zは、エッチング面のうちのマイクロピラミッド67がない部分の面粗度を示す。尚、マイクロピラミッドが発生するようなエッチングを行った場合、その後に、マイクロピラミッドが発生しない条件でエッチングすることでマイクロピラミッドを消失させることができる。

【0065】一方、上記第3の実施例では、Siウエハ43に異方性エッチング可能な程度の微小な正電圧V1を印加したので、製造されたダイヤモンド20の寸法（図17中D1にて示す寸法）のばらつきを大幅に低減することができた。具体的には、従来構成の電気化学エッチングにより製造されたダイヤモンドの寸法のばらつきは±30μm程度であるのに対して、上記第3の実施例により製造されたダイヤモンド20の寸法のばらつきは±10μm程度となった。ここで、ダイヤモンドの寸法D1のばらつきが小さくなる理由について簡単に説明する。

【0066】まず、Siウエハ43に形成される凹部5

0の正面図を図17に示し、凹部50の図17中a-a線に沿う断面図を図18に示す。上記図17及び図18において、凹部50の底面部50aが（110）面であり、上下端部側の斜面50c、50cが（100）面であり、左右端部側の斜面50d、50dが（111）面である。

【0067】さて、従来構成の電気化学エッチングの場合、Siウエハ43のN層45に例えば1.0V以上の正電圧を印加するだけであるから、PN接合に逆バイアスした状態となり、P層44には実質的には電圧が印加されない状態で異方性エッチングが進行する。この場合、Siウエハ43のエッチング面の電位がシフトしないから、該エッチング面に金属（例えばPb）等の不純物が吸着し易く、エッチレートが変動することがある。このエッチレートの変動は、異方性エッチング液14中のPbの濃度や、エッチング面の面方位や、異方性エッチング液14中の液温等によって変化する。

【0068】具体的には、エッチレートは、異方性エッチング液14中のPbの濃度に依拠して図19に示すように変動する。この図19において、曲線P1は面方位が（110）面の場合を示し、曲線P2は面方位が（100）面の場合を示している。尚、この場合、異方性エッチング液14は、例えば110℃の32wt% KOH水溶液である。

【0069】そして、上記（100）面のエッチレートと上記（110）面のエッチレートとの比を求めると、図20のグラフのようになる。即ち、上記2つの面のエッチレートの比が、異方性エッチング液14中のPbの濃度に依拠してかなり変動することがわかる。そして、上記2つの面のエッチレートの比が変動すると、図18に示すように、（100）面と（110）面のエッチングの進行量はかなり変化する。（110）面のエッチングはPN接合界面近傍（実際にはPN接合界面より2～5μm程度手前の位置）で停止し、そのエッチング深さはほぼ一定である。このため、形成されたダイヤモンド20の寸法D1が±30μm程度ばらついてしまうという欠点があった。

【0070】特に、異方性エッチング液14中のPbの濃度によって変動する上記2つの面のエッチレートの比は、異方性エッチング液14の液温の影響を強く受けることがわかった。この液温による変動の一例を図21に示す。この図21において、曲線Q1はPbの濃度が15ppbの場合を示し、曲線Q2はPbの濃度が130ppbの場合を示している。上記図21から、異方性エッチング液14の液温が高くなるほど、異方性エッチング液14中のPbの濃度に起因する上記2つの面のエッチレートの比の変動が大きくなることがわかる。従って、従来構成の場合、異方性エッチング液14の液温を高くすると、ダイヤモンドの寸法D1のばらつきが一層大きくなってしまいうという欠点があった。

【0071】尚、上記従来構成の電気化学エッチングによれば、エッチングがPN接合層近傍まで達すると、エッチング面が陽極酸化してエッチングが自動停止するから、凹部の深さ寸法、即ち、ダイヤフラムの厚さ寸法については高精度に形成することができる。

【0072】さて、上記した従来構成の電気化学エッチングに対して、第3の実施例においては、Siウエハ43のP層を所定の深さ(PN接合界面から10~20μm程度P層寄りの領域)まで異方性エッチングする第1の工程において、Siウエハ43に異方性エッチング可能な程度の微小な正電圧V1をP層に印加しながら、Siウエハ43を異方性エッチングするように構成した。この構成の場合、Siウエハ43のエッチング面の電位が正の方向にシフトするから、エッチング面に金属(例えばPb)等の不純物が吸着しにくくなる。このため、Siウエハ43の(100)面のエッチレートと(110)面のエッチレートとの比は、図22のグラフに示すように、異方性エッチング液14中のPbの濃度に関係なくほとんど一定になる。この結果、上記第3の実施例により製造されたダイヤフラム20の寸法D1のばらつきは±10μm程度に小さくなるのである。また、面精度も向上する。尚、上記図22のグラフは、異方性エッチング液14として例えば110℃の32wt% KOH水溶液を使用し、P層44への印加電圧を例えば0.1Vとし、Siウエハ43に流れる電流の電流密度を0.13mA/mm²とした。

【0073】ここで、上記110℃の32wt% KOH水溶液からなる異方性エッチング液14を使用した場合について、(100)面のエッチレートと(110)面のエッチレートとの比と、Siウエハ43に流れる電流の電流密度との関係を測定したグラフを図23に示す。この図23において、曲線R1はPb濃度が130ppbである場合を示し、R2はPb濃度が15ppbである場合を示している。この図23から、初期電流密度が0mA/mm²である場合(電圧を印加しない場合)、上記エッチレートの比が大きくなっていくことがわかる。また、初期電流密度が0.18mA/mm²よりも大きい場合は、エッチング面にマイクロピラミッドが発生するという問題がある。このため、上記第3の実施例では、初期電流密度が0.10mA/mm²以上0.18mA/mm²以下となるように、制御装置18及び可変電源回路15によってSiウエハ43のP層44に印加する電圧V1の大きさを調整している。

【0074】また、上記第3の実施例では、第1の工程が完了した時点T1、即ち、Siウエハ43のPN接合層の近く(PN接合界面から10~20μm程度P層寄りの領域)までエッチングが進んだ時点で、P層44への電圧印加を止めてN層45へ陽極酸化用の正電圧として直流電圧V2を印加するように構成した。この電圧V2の印加によって、通常の電気化学エッチングと同様に

して、エッチングがSiウエハ43のエッチングPN接合層近傍まで進行すると共に、そのエッチング面(ダイヤフラム面)が陽極酸化して、エッチングが自動的に停止する。このため、凹部50の深さ寸法、即ち、ダイヤフラム20の厚さ寸法を高精度に形成することができる。

【0075】更に、上記第3の実施例では、陽極酸化工程が完了した時点T2で、N層45への電圧印加を止めてP層44に陽極酸化用の正電圧として直流電圧V3(例えば3.5V)を印加するように構成した。この電圧V3の印加によって、第1の実施例の第2の工程と同様にして、Siウエハ43のエッチング面(ダイヤフラム面および側壁部)が陽極酸化すると共に、等方性エッチングがゆっくりではあるが進行するようになる。これによって、Siウエハ43の凹部50の内底部50aが等方性エッチングされる処理が進行し、上記凹部50の内底部50aの端部50bの形状が丸められる。この結果、ダイヤフラム20の耐圧強度が高くなる。

【0076】図29は本発明の第4の実施例を示すものである。尚、第2及び第3の実施例と同一部分には同一符号を付している。この第4の実施例は、PN接合を有するSiウエハ43をエッチングするに際して、図29に示すエッチング装置21を使用するように構成した。上記エッチング装置21は、図12に示すエッチング装置とほぼ同じ装置であり、異なるところは次の点である。

【0077】即ち、2個の陽極電極29、30のうちの一方の陽極電極29の先端部をSiウエハ43のP層44に接続し、他方の陽極電極30の先端部をSiウエハ43のN層45に接続している。そして、上記一方の陽極電極29の基端部をリレー48を介して可変電源回路15の正側端子15aに接続し、上記他方の陽極電極30の基端部をリレー49を介して可変電源回路15の正側端子15aに接続している。

【0078】尚、上述した以外の第4の実施例の構成は、第2または第3の実施例と同じ構成となっている。従って、上記第4の実施例においても、第2または第3の実施例とほぼ同様な作用効果を得ることができる。

【0079】図30ないし図41は本発明の第5の実施例を示すものである。尚、第1ないし第4の実施例と同一部分には同一符号を付している。まず、第5の実施例によって解決する課題について説明する。前述した第1の実施例においては、Siウエハ11を所定の深さまで異方性エッチングする第1の工程において、Siウエハ11に異方性エッチング可能な程度の微小な正電圧V1を印加しながら、Siウエハ11を異方性エッチングするようにした。これにより、エッチング液中に含まれる金属(例えばPb)等の不純物がエッチング面に吸着しにくくなるから、Siウエハ11のエッチング面が(110)面であっても、エッチング面が滑らかになり、凹

部19の内底面19aの平滑性が向上すると共に、寸法のばらつきも低減する。

【0080】ここで、Siウエハ11に印加する電圧V1の大きさは、Siウエハ11がP型Siである場合、0～0.2V程度の小さな電圧であり、この小さな電圧範囲で印加電圧をコントロールしなければならなかった。このため、第1の実施例の場合、異方性エッチング可能な程度の微小な正電圧V1を印加するための電圧制御を精密に行うシステムが必要であった。

【0081】また、Siウエハ11がN型Siである場合には、Siウエハ11に印加する電圧V1が負電圧となると共に、-0.2～-0.05V程度の狭い電圧範囲となることがわかった。ここで、N型Siウエハについての印加電圧に対するエッチング特性を実験により求めた実験結果を図31(a)及び(b)に示す。この図31(a)は印加電圧と電流密度との関係を示す特性図であり、図31(b)は印加電圧とエッチレートとの関係を示す特性図である。従って、Siウエハ11がN型Siである場合、電圧制御の精度を更に高めなければならないという問題点があった。

【0082】このような問題点を解消するために、本発明者は、第5の実施例のように構成するエッチング方法を発明した。第5の実施例では、Siウエハに抵抗体を直列接続して電圧を印加するように構成した。具体的には、図33に示すようなエッチング装置21を使用した。このエッチング装置21は、図12に示す第2の実施例のエッチング装置21と基本的構成がほぼ同じ装置であり、異なるところは次の点である。

【0083】即ち、陽極電極29、30の基端部と可変電源回路15の正側端子15aとの間に、抵抗接続切換回路71を設けた点と、可変電源回路15の両端子15a及び15bと抵抗接続切換回路71及び陰極電極37との間に電圧極性切換回路72を設けた点とである。まず、抵抗接続切換回路71は、トランジスタやリレー等からなるスイッチング素子73と抵抗体74を直列接続した直列回路と、トランジスタやリレー等からなるスイッチング素子75とを並列接続して構成されている。上記2個のスイッチング素子73、75は、前記制御装置18によりオンオフ制御されるように構成されている。上記抵抗体74は、例えば20Ωの抵抗である。

【0084】この構成の場合、スイッチング素子73をオンすると共に、スイッチング素子75をオフすると、Siウエハ11に抵抗体74が直列接続されるように構成されている。また、スイッチング素子73をオフすると共に、スイッチング素子75をオンすると、Siウエハ11に抵抗体74が接続されない構成となるように構成されている。

【0085】一方、電圧極性切換回路72は、トランジスタやリレー等からなる4個のスイッチング素子76、77、78、79を、図33に示すように接続して構成

されている。この構成の場合、スイッチング素子76及び79をオンすると共に、スイッチング素子77及び78をオフすると、Siウエハ11に正電圧が印加される。また、スイッチング素子76及び79をオフすると共に、スイッチング素子77及び78をオンすると、Siウエハ11に負電圧が印加されるように構成されている。

【0086】上記した構成のエッチング装置21を使用して、N型のSiウエハ11をエッチングするのであるが、ここで、N型のSiウエハ11について図30を参照して簡単に説明する。図30に示すように、N型のSiウエハ11の下面には、所定形状のゲージ62が形成されていると共に、例えば全体としてほぼ格子状をなすAl製の給電用電極64が形成されている。そして、N型のSiウエハ11の他方の面である上面には、例えばSiO₂やSiN膜等からなるエッチングマスク12が形成されている。

【0087】さて、上記N型のSiウエハ11を図33に示すエッチング装置21を使用してエッチングする場合のエッチング動作について説明する。Siウエハ11をPt電極と対向させてアルカリエッチング液中に浸漬し、電圧を印加した場合、電圧が所定値以下の場合には、異方性のエッチングが進行し、電圧が所定値以上の場合には、Siが陽極酸化される。ここで、Siが陽極酸化される場合、Si上に酸化膜が形成され、アルカリによって酸化膜がすこしずつエッチングされるため、非常に穏やかな等方性のエッチングが進行する。

【0088】一方、非常に小さい電圧を印加する場合、基本的には異方性のエッチングが進行するが、電圧を印加しない場合に比べ、エッチング面が平滑化されると共に、各面のエッチレート比が変化する。また、所定電圧を印加した場合、エッチング液中の微量金属不純物(Pb等)による(100)面と(110)面のエッチレート変動を無くすることができる。しかし、印加電圧が大きくなると、エッチング面上にマイクロピラミッドが発生し易くなり、ついには異方性が消失し、Siが陽極酸化されるようになる。

【0089】ここで、液温が例えば110℃で濃度が32wt%のKOH水溶液からなる異方性エッチング液14を使用し、抵抗体74を接続せずに、即ち、スイッチング素子73をオフし且つスイッチング素子75をオンした状態で、N型のSiウエハ11に電圧を印加したときに、エッチング面である(110)面の初期電流密度及びエッチレートを測定すると、図31に示すようなエッチング特性図が得られた。尚、N型のSiウエハ11としては、比抵抗が0.6～1.2Ω・cmのものをを用いた。

【0090】上記エッチング特性は、エッチングの条件、ウエハの種類(不純物種及び濃度)の他、各種接触抵抗等も含めた給電回路系内の抵抗等により変動する。

この場合において、例えば、同種類のウエハを用い、同じエッチングマスクパターンの場合には、エッチング特性の変動要因は、給電回路内の抵抗に依存するようになる。しかし、抵抗無しと抵抗 20Ω の場合の同一初期電流密度下においては、エッチレート等のエッチング特性は一定になる。

【0091】従って、電圧と電流がほぼニアに変化する電圧領域におけるエッチング特性は、エッチング面の初期電流（密度）によってきまるといえ、エッチング初期の電流を制御すれば、エッチングの繰り返し性を確保することができる。このため、エッチング初期電流密度、即ち、電流値を被エッチング面積で割った値を制御する必要がある。

【0092】ここで、初期電流密度に対するエッチング面の粗度、即ち、(110)面の粗度は、図34に示すグラフのようになる。尚、図34におけるA点、即ち、初期電流密度が0の場合（電圧を印加しない場合）のエッチング面の様子を図35に示す。そして、図34におけるB点、即ち、初期電流密度がほぼ 0.07mA/mm^2 の場合のエッチング面の様子を図36に示す。また、図34におけるC点、即ち、初期電流密度がほぼ 0.14mA/mm^2 の場合のエッチング面の様子を図37に示す。更に、図34におけるD点、即ち、初期電流密度がほぼ 0.24mA/mm^2 の場合のエッチング面の様子を図38に示す。これら図35、図36、図37、図38は、エッチング面を撮影した写真を模写した図である。

【0093】また、初期電流密度に対するエッチング面上のマイクロピラミッド発生頻度は、図39に示すグラフのようになる。更に、初期電流密度に対する(100)面と(110)面のエッチレート比は、図40に示すグラフのようになる。

【0094】そして、上記図34、図39及び図40から、エッチング液中に含まれるPb等の微量金属不純物の影響による寸法変動が少なくなり、且つ、平滑なダイアフラムを形成するには、エッチング面の初期電流密度を $0.07\sim 0.17\text{mA/mm}^2$ の範囲内に設定するように制御すれば良いことがわかる。そして、給電回路抵抗の少ない状態、即ち、抵抗体74を接続しない状態でエッチングする場合において、上記した範囲の電流密度を得るには、図31(a)に示すように、 $(-0.2)\sim(-0.05)\text{V}$ の負電圧を印加する必要がある。

【0095】しかし、他のエッチング工程においては、上記したかなり小さい負電圧に比べて大きい正電圧を印加しなければならない場合がある。例えば、エッチング初期においてエッチング液の温度が安定するまでエッチングを停止させたり、エッチング後にダイアフラム端部を丸めたりするために、シリコンを陽極酸化する場合に

る。このような場合には、電圧の極性を切り換えると共に、負電圧を印加する場合に上記した範囲のかなり小さい値の負電圧を印加しなければならないので、各場合に電流密度を一定に制御することは、かなり困難な電圧制御となる。

【0096】そこで、給電回路内に 20Ω の抵抗体74を設けることにより、正電圧だけで電圧制御できるように構成したのである。ここで、液温が例えば 110°C で濃度が $32\text{wt}\%$ のKOH水溶液からなる異方性エッチング液14を使用し、抵抗体74を接続し、即ち、スイッチング素子73をオンし且つスイッチング素子75をオフした状態で、N型のSiウエハ11に電圧を印加したときに、エッチング面である(110)面の初期電流密度及びエッチレートを測定すると、図32において黒丸及び黒丸を結ぶ曲線で示すようなエッチング特性図が得られた。尚、N型のSiウエハ11としては、比抵抗が $0.6\sim 1.2\Omega\cdot\text{cm}$ のものをを用いた。また、図32において、白丸及び白丸を結ぶ曲線で示すエッチング特性は、抵抗体74を接続しない場合である。

【0097】上記図32(a)から、抵抗体74を接続した場合には、エッチング面の初期電流密度を $0.07\sim 0.17\text{mA/mm}^2$ の適性範囲内に設定するための印加電圧範囲は、正電位側へシフトするとともに拡がり、 $0.2\sim 1.0\text{V}$ となる。従って、この印加電圧範囲は、陽極酸化する場合の印加電圧と同じ正電圧であると共に、比較的電圧制御が容易な広い電圧範囲である。

【0098】これに対して、エッチング初期においてエッチング液の温度が安定化するまでエッチングを停止させたり、エッチング後にダイアフラム端部を丸めたりするために、シリコンを陽極酸化する場合には、抵抗体74の抵抗値が小さい方が、印加する電圧を小さくすることができる。従って、このような場合には、接続する抵抗体74の抵抗値を小さくするように、または、抵抗体74を接続しないように回路を切り換えると、総合的な印加電圧範囲を小さくすることが可能となり、それだけ電圧制御性が向上する。

【0099】次に、初期電流密度の制御方法について説明する。微小電圧を印加してエッチングする場合、エッチング時の電流（密度）は、エッチングの進行によりダイアフラム形状が変化するのに伴い徐々に変化する。エッチング初期には、対象となるのが(110)面のみであるため、電流は印加電圧に依存してほぼ一定になる。しかし、接触抵抗及びシリコン基板の不純物濃度等によっても、電流にばらつきが生ずるので、初期電流密度（実際には電流値）が所定値になるように印加電圧を調整すれば良い。

【0100】例えば、図33に示すエッチング装置21を使用する場合、加熱したエッチング液を処理槽である枠体23内に入れ、エッチングを開始してから液温が目標値（例えば 110°C ）になるまでに数分間を要する。

この間は、エッチングが進行しないように、例えば抵抗を接続しない（抵抗無し）の場合、1V程度の電圧を印加しておく。そして、液温が目標値に達して安定化した時点で、20Ωの抵抗体74を接続し、印加電圧を0.2～1Vとして、給電回路に流れる電流をモニターし（検出し）、電流密度が所定値である適性範囲（0.07～0.17mA/mm²）になるように、電圧を調整するように制御するのである。

【0101】尚、上記エッチング装置21を用いる場合、Siウエハ11自身の抵抗率（比抵抗）や、Siウエハ11と給電電極29、30との接触抵抗等の制御し得ない変動要因がある。このため、上述したように、エッチング初期に電圧を印加し、電流を測定した後、この電流が所定値（適性範囲）となるように、印加電圧を微調整すると、制御性が高くなる。

【0102】次に、元厚が300μmのN型のSiウエハ11を用いて、厚みが30μmのダイヤフラムを形成する場合のエッチング条件について説明する。まず、抵抗体74を接続しない状態で、例えば1Vの第1の電圧を例えば10分間印加し、エッチング液の温度が安定するまで、Siウエハ11を陽極酸化する。この後、抵抗接続切換回路71を切換作動させて抵抗体74を接続し、例えば1Vの電圧を印加して、Siウエハ11に流れる電流値をモニターすると共に、電流密度が例えば0.14mA/mm²となるように印加電圧を微調整する。そして、この電圧にて例えば29分間エッチングを続ける。

【0103】この後、エッチング槽である枠体23内に水を注入し、エッチング液を希釈、冷却してエッチングを終了する。ここで、ダイヤフラム端部を丸めるために、水を注入する前に抵抗体74を接続しないように（抵抗無しに）して、再び上記第1の電圧（例えば1V）を印加しても良い。このような条件でエッチングを行うと、エッチング面が平滑（面粗度Rzが0.2以下）であると共に、寸法変動が少ない（±10μm以下）ダイヤフラムを安定的に形成（製造）することができる。

【0104】一方、P型のSiウエハ11をエッチングする場合には、第1の工程においてSiウエハ11を異方性エッチングする際に抵抗体74を接続しなくても良い。というのは、比抵抗が10～20Ω・cmのP型Siウエハ11の場合、抵抗無しの条件で、印加電圧に対するエッチング特性を実験により求めると、図41

(a)、(b)に示すようなグラフとなる。従って、抵抗無しであっても、適性な印加電圧は、-0.1～0.2Vとなるから、この電圧範囲には正電圧領域が十分含まれている。このため、負電圧を印加しなくても済む、即ち、電圧極性を切り換える必要がないから、抵抗体74を接続しなくても、電圧制御が可能である。

【0105】尚、P型Siウエハの場合も、N型Siウ

エハの場合と同様にして、第1の工程においてSiウエハ11を異方性エッチングする際に、抵抗体74を接続するようにエッチング制御しても良い。この構成においても、抵抗体74を接続すると、適性電圧範囲が広がる（正電圧側へシフトするとともに広がる）から、それだけ制御性が向上する。

【0106】尚、上記実施例では、抵抗接続切換回路71において抵抗体74を接続するかしないかを切り換えるように構成したが、これに限られるものではなく、複数の抵抗体を切換接続可能に構成しても良い。そして、Siウエハ11に直列接続する抵抗体の抵抗値を所望の値に可変させるように構成することも好ましい構成である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例を示すものであり、Siウエハへ印加する電圧のタイムチャート

【図2】エッチング装置の縦断側面図

【図3】Siウエハの部分縦断側面図

【図4】Siウエハの部分縦断側面図

【図5】Siウエハの部分縦断側面図

【図6】陽極酸化による等方性エッチングを説明するSiウエハの部分縦断側面図

【図7】エッチレートと印加電圧との関係を示す図

【図8】ダイヤフラムの端部の丸め量と陽極酸化時間と印加電圧との関係を示す図

【図9】ダイヤフラムの端部の丸め量と陽極酸化時間と液温との関係を示す図

【図10】Siウエハの縦断側面図

【図11】P型Siウエハに正電圧を印加したときの電圧とエッチング面の初期電流密度との関係を示す特性図

【図12】本発明の第2の実施例を示すエッチング装置の縦断側面図

【図13】本発明の第3の実施例を示す図2相当図

【図14】図1相当図

【図15】検知電流の変化を示すタイムチャート

【図16】Siウエハの縦断側面図

【図17】凹部（ダイヤフラム）の正面図

【図18】凹部（ダイヤフラム）の縦断側面図

【図19】エッチレートとPbの濃度とSiウエハの面方位との関係を示すグラフ

【図20】エッチレートの比とPbの濃度との関係を示すグラフ

【図21】エッチレートの比と液温とPbの濃度との関係を示すグラフ

【図22】エッチレートの比とPbの濃度との関係を示すグラフ

【図23】エッチレートの比と電流密度との関係を示すグラフ

【図24】エッチング面の粗度と初期電流密度との関係、並びに、マイクロピラミッド発生頻度と初期電流密

25

度との関係を示すグラフ

【図25】エッチング面の様子を示す図

【図26】エッチング面の様子を示す図

【図27】エッチング面の様子を示す図

【図28】エッチング面の様子を示す図

【図29】本発明の第4の実施例を示す図12相当図

【図30】本発明の第5の実施例を示すSiウエハの縦断側面図

【図31】N型Siウエハのエッチング特性を示す特性図であり、(a)は印加電圧と電流密度との関係を示す特性図、(b)は印加電圧とエッチレートとの関係を示す特性図

【図32】抵抗の有無に応じたN型Siウエハのエッチング特性を示す特性図

【図33】図12相当図

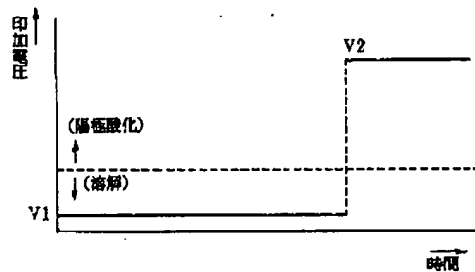
【図34】N型Siウエハのエッチング面の粗度と初期電流密度との関係を示すグラフ

【図35】エッチング面の様子を示す図

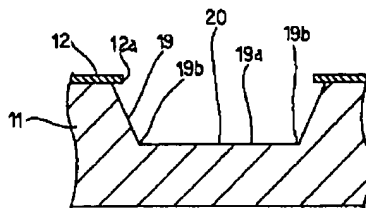
【図36】エッチング面の様子を示す図

【図37】エッチング面の様子を示す図

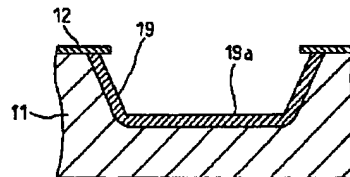
【図1】



【図3】



【図4】



26

【図38】エッチング面の様子を示す図

【図39】N型Siウエハのマイクロピラミッド発生頻度と初期電流密度との関係を示すグラフ

【図40】N型Siウエハの初期電流密度とエッチレート比との関係を示すグラフ

【図41】P型Siウエハのエッチング特性を示す特性図

【図42】従来構成を示す図16相当図

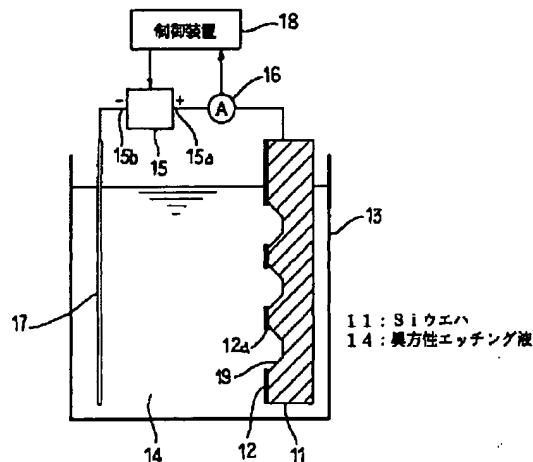
【図43】エッチング装置の縦断側面図

【符号の説明】

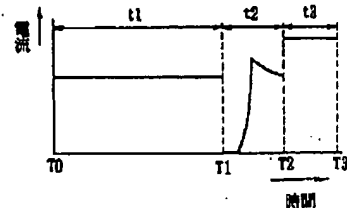
11はSiウエハ、12はエッチングマスク、14は異方性エッチング液、15は可変電源回路、16はPt電極、17は電流検知器、18は制御装置、19は凹部、20はダイヤフラム、21はエッチング装置、22は基台、23は枠体、24は蓋体、29、30は陽極電極、37は陰極電極、42はモータ、43はSiウエハ、44はP層、45N層は、46はP層電極、47はN層電極、48、49はリレー、50は凹部、74は抵抗体を示す。

20

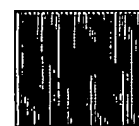
【図2】



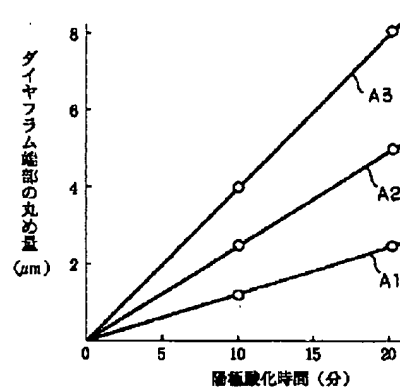
【図15】



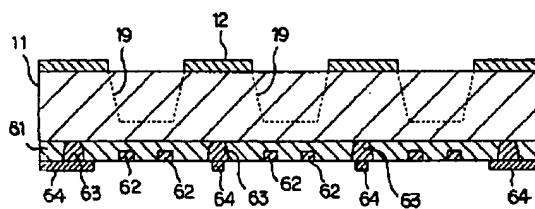
【图25】



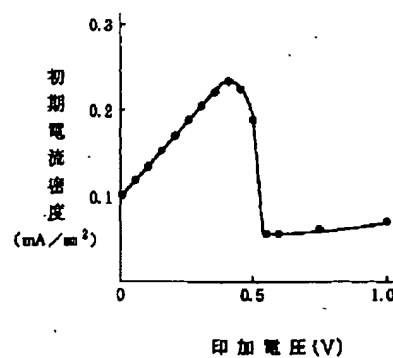
【図8】



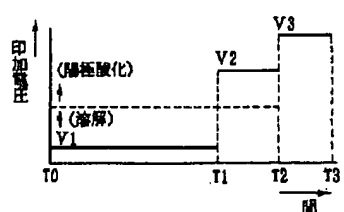
【図10】



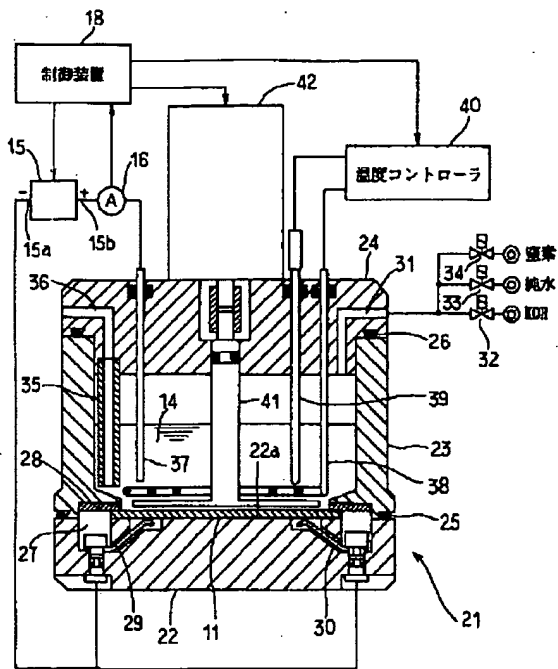
【図 1 1】



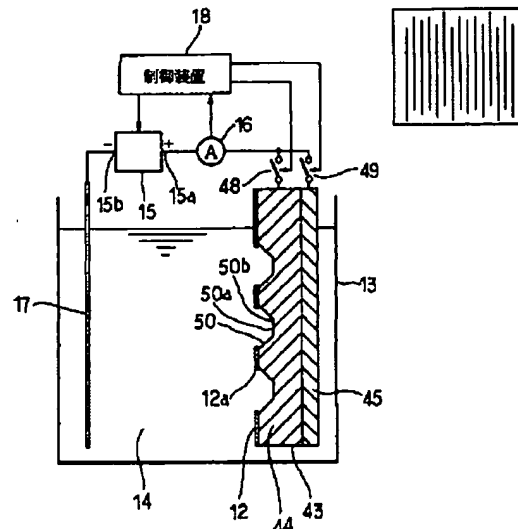
【例 14】



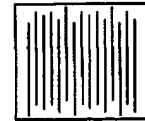
【図12】



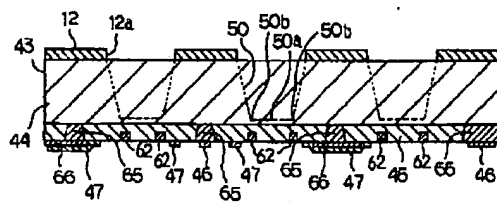
【図13】



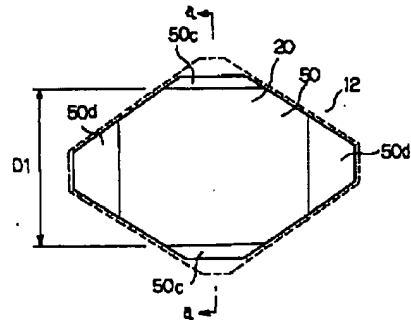
【図26】



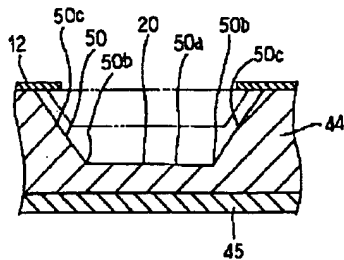
【図16】



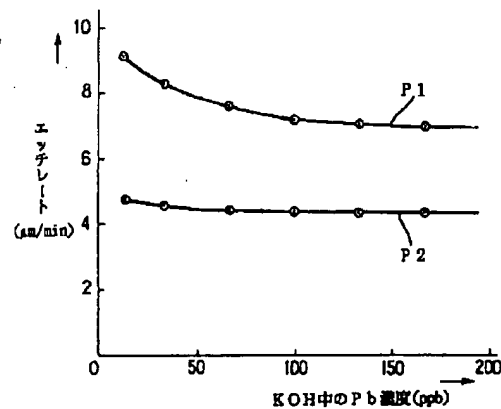
【図17】



【図18】



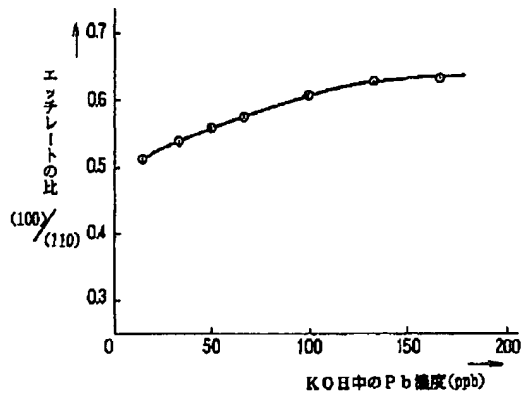
【図19】



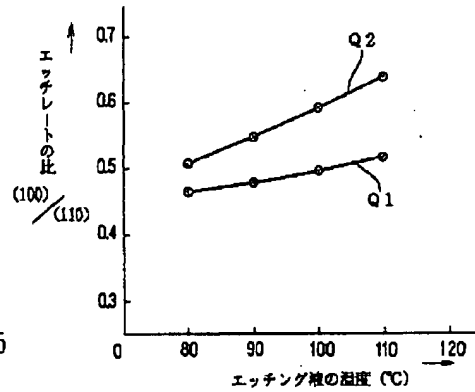
【図27】



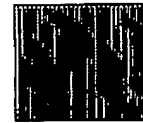
【図20】



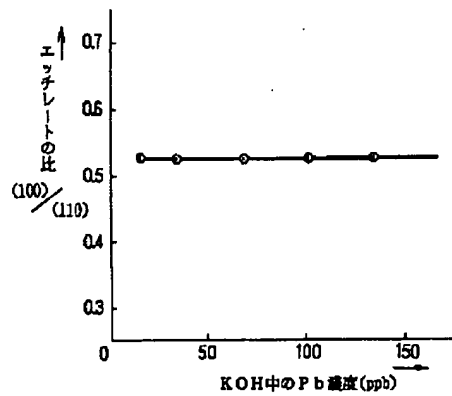
【図21】



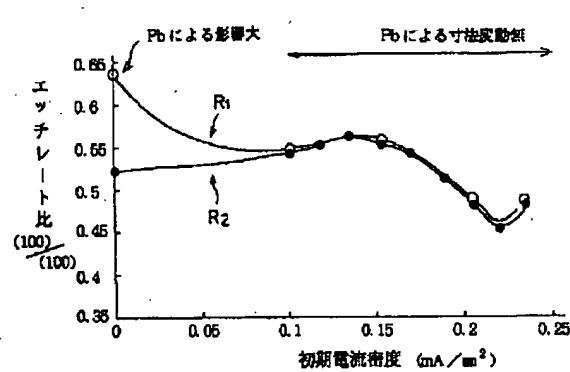
【図35】



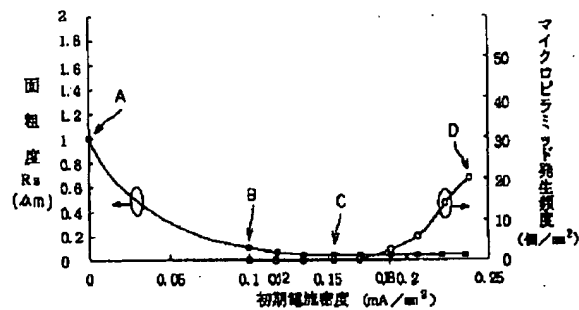
【図22】



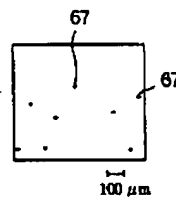
【図23】



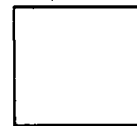
【図24】



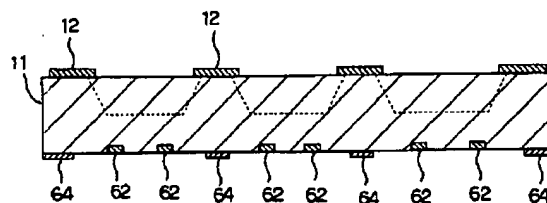
【図28】



【図37】



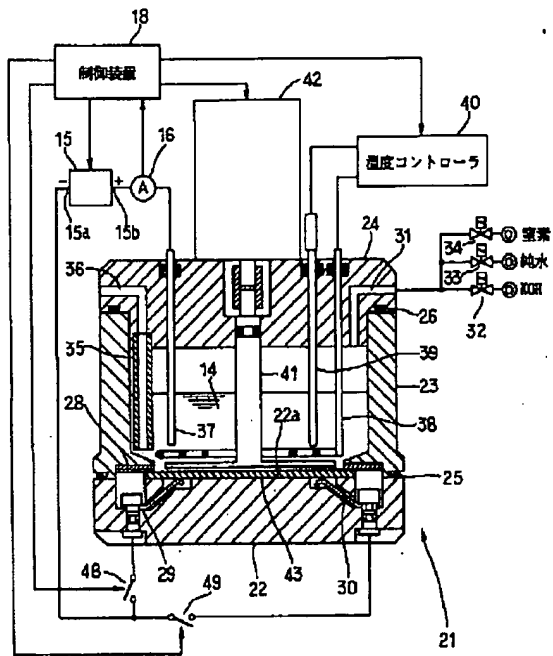
【図30】



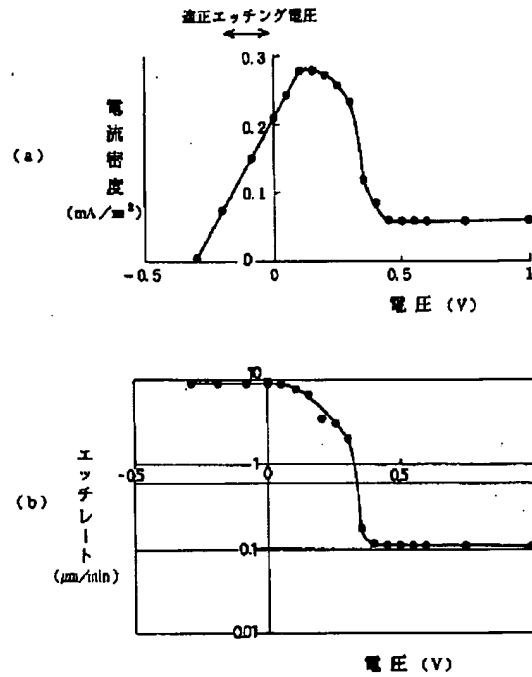
【図36】



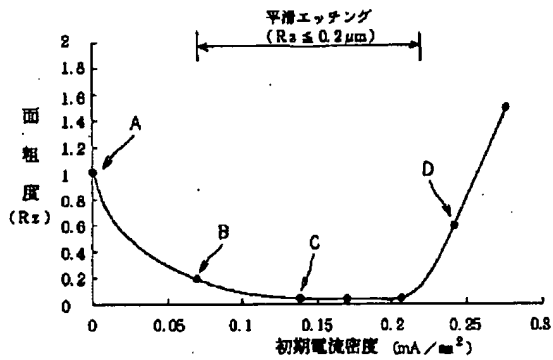
【図29】



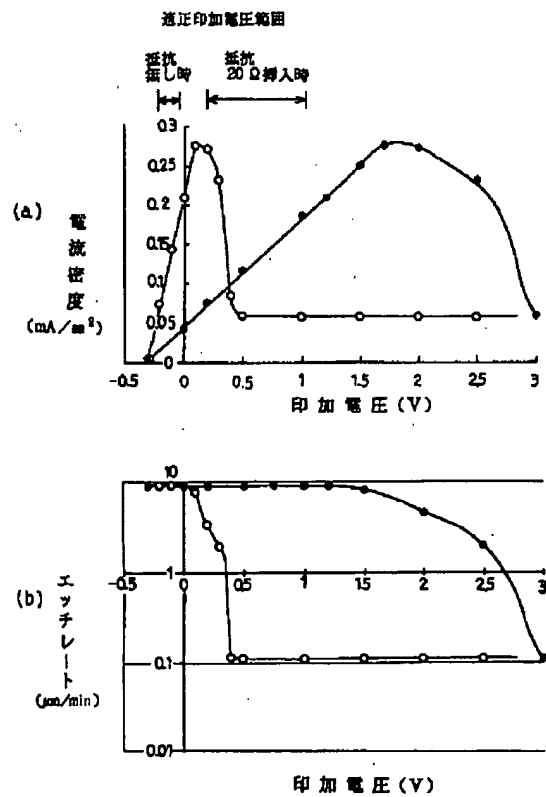
【図31】



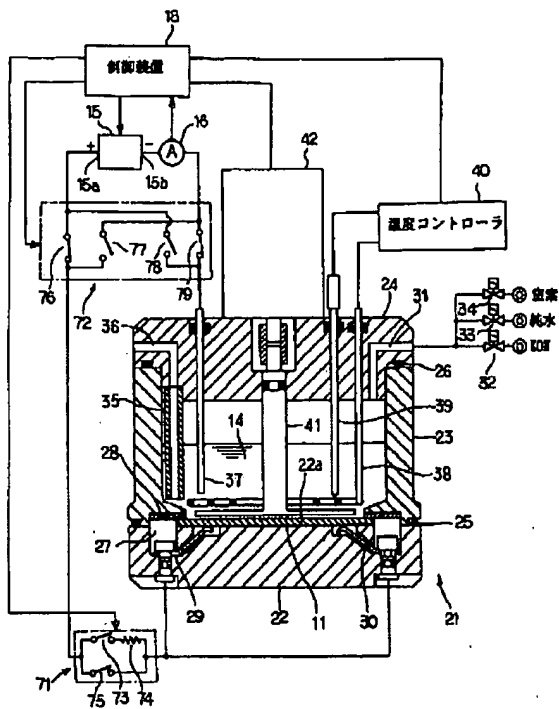
【図34】



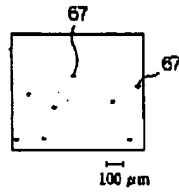
【図32】



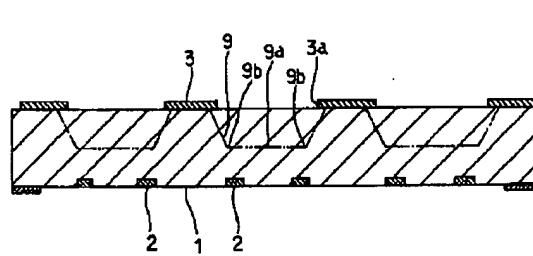
【図33】



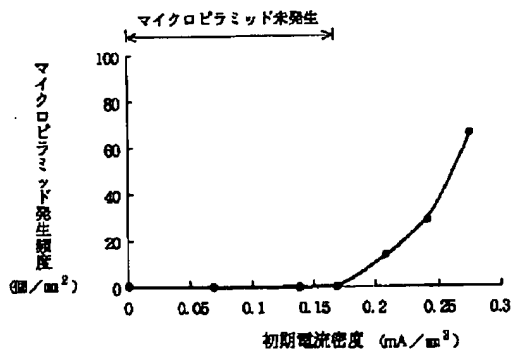
【図38】



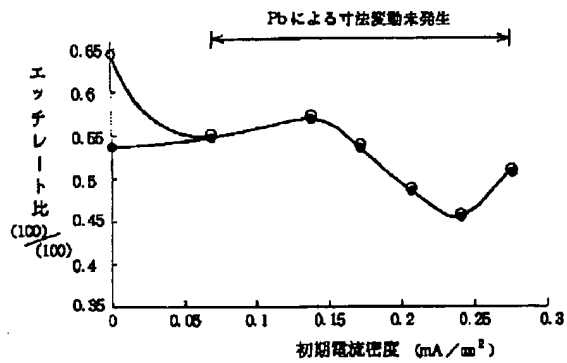
【図42】



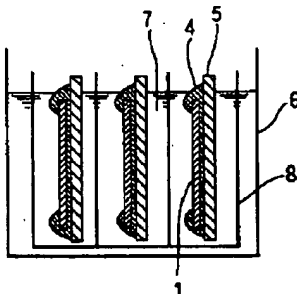
【図39】



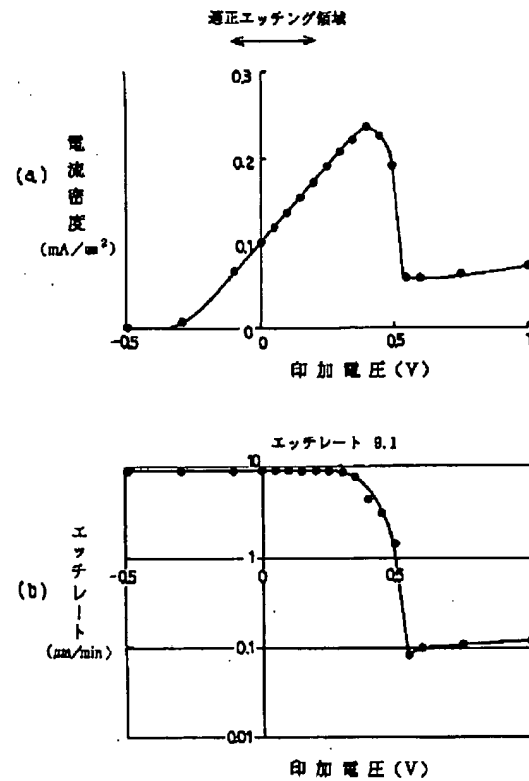
【図40】



【図43】



【図41】



フロントページの続き

(72)発明者 谷口 敏尚
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(72)発明者 深田 毅
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(72)発明者 伊藤 基樹
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内